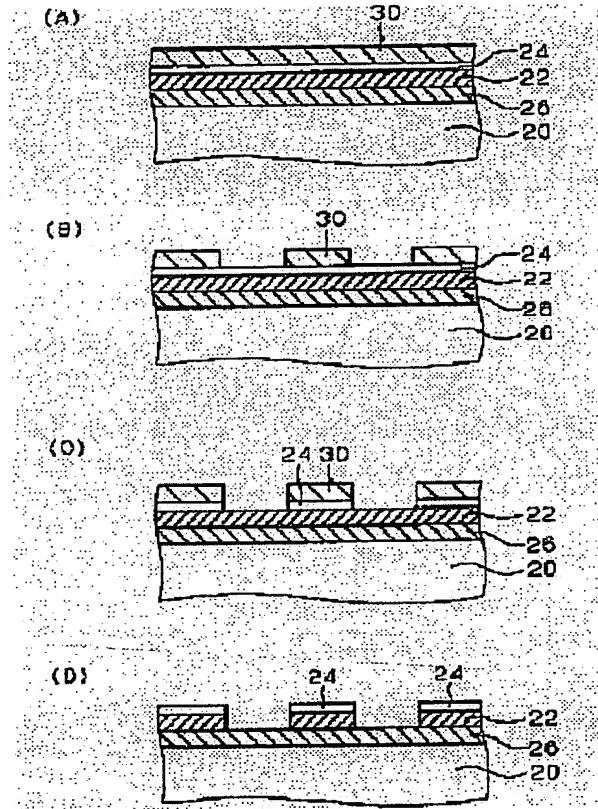


**PRODUCTION OF PHASE SHIFT MASK**

**Patent number:** JP7049558  
**Publication date:** 1995-02-21  
**Inventor:** SUGAWARA MINORU  
**Applicant:** SONY CORP  
**Classification:**  
- international: G03F1/08; H01L21/027  
- european:  
**Application number:** JP19930213318 19930805  
**Priority number(s):** JP19930213318 19930805

[Report a data error here](#)**Abstract of JP7049558**

**PURPOSE:** To precisely form a light transmitting region and a phase shift region into desired pattern shapes. **CONSTITUTION:** A phase shift material layer 26, a light shielding layer 22 and a silicon dioxide layer 24 are successively formed on the surface of a substrate 20 (a). The silicon dioxide layer 24 is dry-etched into a desired pattern shape (b), the light shielding layer 22 is dry-etched with the silicon dioxide layer 24 as an etching mask (c) and the shift material layer 26 is dry-etched with the light shielding layer 22 as an etching mask to produce the objective phase shift mask (d).



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-49558

(43)公開日 平成7年(1995)2月21日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>  
G 0 3 F 1/08  
H 0 1 L 21/027

識別記号 A  
庁内整理番号  
7352-4M  
7352-4M

F I

技術表示箇所  
5 0 2 P  
5 2 8

審査請求 未請求 請求項の数2 FD (全19頁)

(21)出願番号

特願平5-213318

(22)出願日

平成5年(1993)8月5日

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 皆原 稔

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(74)代理人 弁理士 山本 孝久

(54)【発明の名称】 位相シフトマスクの作製方法

(57)【要約】

【目的】光透過領域や位相シフト領域を所望のパターン形状に正確に形成することができる位相シフトマスクの作製方法を提供する。

【構成】位相シフトマスクの作製方法は、(イ)基板表面に位相シフト材料層、遮光層、及び二酸化シリコン層を順に形成する工程と、(ロ)二酸化シリコン層を所望のパターン形状にドライエッチングする工程と、(ハ)二酸化シリコン層をエッチングマスクとして用いて、遮光層をドライエッチングする工程と、(二)遮光層をエッチングマスクとして用いて、位相シフト材料層をドライエッチングする工程、から成る。

1

## 【特許請求の範囲】

- 【請求項1】 (イ) 基板表面に位相シフト材料層、遮光層、及び二酸化シリコン層を順に形成する工程と、  
 (ロ) 該二酸化シリコン層を所望のパターン形状にドライエッティングする工程と、  
 (ハ) 該二酸化シリコン層をエッティングマスクとして用いて、遮光層をドライエッティングする工程と、  
 (二) 遮光層をエッティングマスクとして用いて、位相シフト材料層をドライエッティングする工程、から成ることを特徴とする位相シフトマスクの作製方法。

- 【請求項2】 (イ) 基板表面に遮光層、及び二酸化シリコン層を順に形成する工程と、  
 (ロ) 該二酸化シリコン層を所望のパターン形状にドライエッティングする工程と、  
 (ハ) 該二酸化シリコン層をエッティングマスクとして用いて、遮光層をドライエッティングする工程と、  
 (二) 遮光層をエッティングマスクとして用いて、基板をドライエッティングする工程、から成ることを特徴とする位相シフトマスクの作製方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ハーフトーン方式位相シフトマスクを含む位相シフトマスクの作製方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体装置の製造におけるパターン転写工程、所謂リソグラフィ工程で使用されるフォトマスクは、フォトマスク上のパターン形状をウエハ上に形成されたレジスト材料に転写するために用いられる。半導体装置等におけるパターン加工の寸法は年々微細化している。そして、遮光領域と光透過領域とから構成されたパターン領域のみを備えた従来型のフォトマスクでは、リソグラフィ工程で使用する露光装置の露光光の波長程度の解像度を得ることができず、半導体装置等の製造において要求される解像度を得ることが困難になりつつある。そこで、近年、このような従来型のフォトマスクに替わって、光の位相を異ならせる位相シフト領域を具備した、所謂位相シフトマスクが用いられるようになってきている。位相シフトマスクを用いることによって、従来型のフォトマスクでは形成不可能な微細パターンの形成が可能である。

【0003】 従来の位相シフトマスクの作製方法を、図15乃至図18を参照して、以下に説明する。尚、以下に説明する従来の位相シフトマスクの作製方法においては、レジストとしてポジ型レジストを使用する場合を例にとり説明する。

【0004】 先ず、遮光層と透明基板との間に光の位相をシフトさせる機能を有する位相シフト材料層が形成された構造を有する従来の位相シフトマスクの製造方法を、図15及び図16を参照して説明する。

2

【0005】 【工程-10A】 例えば、石英から成る透明基板20上に、例えばSOG(スピンドルガラス)を塗布することによって、位相シフト材料層26を形成する。次いで、位相シフト材料層26の上に、例えばクロムから成る遮光層22をスパッタ法にて形成し、更に、遮光層22の上に、レジスト層30を形成する。これによつて、図15の(A)に示す構造を得る。

【0006】 【工程-20A】 次に、描画装置からの電子線ビームによる描画工程、レジスト層30の現像工程(図15の(B)参照)、遮光層22のエッティング工程(図15の(C)参照)、レジスト層30の剥離工程を経て、図15の(D)に示す構造を得る。

【0007】 【工程-30A】 その後、全面にレジスト層32を形成し、更に、その上に帯電防止層34を塗布する(図16の(A)参照)。次いで、描画装置からの電子線ビームによる描画工程、レジスト層32の現像工程を経て、図16の(B)に示す構造を得る。

【0008】 【工程-40A】 次に、遮光層22をエッティング用マスクとして用いて、位相シフト材料層26をエッティングし(図16の(C)参照)、レジスト層32を剥離して、最終的に図16の(D)に示す構造を得る。位相シフト層26が除去された部分は光透過領域10に相当する。また、遮光層22が除去され位相シフト材料層26が残された部分は、位相シフト領域14に相当する。更に、遮光層22及び位相シフト材料層26が残された部分は遮光領域12に相当する。

【0009】 次に、透明基板をエッティング加工することにより凹部を形成する従来の位相シフトマスクの製造方法を、図17及び図18を参照して、以下、説明する。

【0010】 【工程-10B】 例えば、石英から成る透明基板20上に、例えばクロムから成る遮光層22をスパッタ法によって形成し、更に、遮光層22上にレジスト層30を塗布する(図17の(A)参照)。

【0011】 【工程-20B】 次に、描画装置からの電子線ビームによる描画工程、レジスト層30の現像工程(図17の(B)参照)、更に、遮光層22のエッティング工程(図17の(C)参照)、レジスト層30の剥離工程を経て、図17の(D)に示す構造を得る。

【0012】 【工程-30B】 その後、レジスト層32を形成し、更に、その上に帯電防止層34を塗布する(図18の(A)参照)。そして、描画装置からの電子線ビームによる描画工程、レジスト層32の現像工程を行つ(図18の(B)参照)。

【0013】 【工程-40B】 次いで、遮光層22をエッティング用マスクとして用いて、基板20をエッティングし、レジスト層32を剥離して、最終的に図18の(D)に示す構造を得る。

## 【0014】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、従来の位相シフトマスクの製造方法には、次に述べる種々の問題が

ある。先ず、クロム等から成る遮光層22をエッチング加工する工程（【工程-20A】あるいは【工程-20B】参照）において、ウェットエッチング法にて遮光層22をエッチングすると、エッチングが等方的に進行し、遮光層22の側壁22Aにテーパーが形成される。また、クロム等から成る遮光層22をドライエッティング法にてエッチングする場合においても、遮光層22のエッティング速度と、レジスト層30のエッティング速度との間に充分な選択比が取れない場合、遮光層22の側壁22Aにテーパーが形成される。

【0015】このように遮光層22の側壁にテーパーが形成された場合、形成された位相シフト領域14のパターン寸法が設計寸法からずれてしまうという問題がある（図16の（D）あるいは図18の（D）の点線部を参照）。

【0016】また、【工程-40A】あるいは【工程-40B】において、このような側壁にテーパーの形成された遮光層22をエッティング用マスクとして用いて、位相シフト材料層26あるいは基板20をエッティングすると、形成された光透過領域10のパターン寸法が設計寸法からずれてしまうという問題もある（図16の（D）あるいは図18の（D）の点線部を参照）。

【0017】光透過領域10のパターン寸法が設計寸法となるように、予め遮光層22のパターン寸法を精密に制御したとしても、遮光層22の縁部22Bは非常に薄くなっている。そのため、光透過領域10をウェットエッティング法にて形成した場合、等方的なエッチングによって、光透過領域10のパターン側壁が垂直に形成されないことに加えて、遮光層22の端部22Bが洗浄工程において容易に剥離し、ダストが発生するといった著しい問題がある。

【0018】光透過領域10をドライエッティング法にて形成した場合、ドライエッティングによって遮光層22の端部22Bが後退することに伴い、プラズマ等によって発生するイオンやラジカルの影響を受けて、光透過領域10の端部10Aにだれが生じたり、甚だしい場合には光透過領域10の側壁が垂直に形成されないという問題もある（図16の（D）あるいは図18の（D）参照）。

【0019】側壁が基板表面に垂直でない光透過領域10が形成された位相シフトマスク、若しくは光透過領域10の端部10Aにだれが生じた位相シフトマスクを用いて露光した場合、光の干渉効果が減少し、位相シフトマスクに形成されたパターンが、ウエハ上に形成されたレジスト材料に正確に転写できないという著しい問題がある。

【0020】従って、本発明の目的は、光透過領域や位相シフト領域を所望のパターン形状に正確に形成することができる、ハーフトーン方式位相シフトマスクを含む位相シフトマスクの作製方法を提供することにある。

## 【0021】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するための本発明の第1の態様に係る位相シフトマスクの作製方法は、（イ）基板表面に位相シフト材料層、遮光層、及び二酸化シリコン層を順に形成する工程と、（ロ）二酸化シリコン層を所望のパターン形状にドライエッティングする工程と、（ハ）二酸化シリコン層をエッティングマスクとして用いて、遮光層をドライエッティングする工程と、（二）遮光層をエッティングマスクとして用いて、位相シフト材料層をドライエッティングする工程、から成ることを特徴とする。

【0022】上記の目的を達成するための本発明の第2の態様に係る位相シフトマスクの作製方法は、（イ）基板表面に遮光層、及び二酸化シリコン層を順に形成する工程と、（ロ）二酸化シリコン層を所望のパターン形状にドライエッティングする工程と、（ハ）二酸化シリコン層をエッティングマスクとして用いて、遮光層をドライエッティングする工程と、（二）遮光層をエッティングマスクとして用いて、基板をドライエッティングする工程、から成ることを特徴とする。

【0023】用いられる遮光層の振幅透過率は、0%以上55%以下である。尚、本明細書においては、遮光層という用語には、光を若干透過する、所謂半遮光層も包含する。

【0024】また、本明細書中、「位相シフト領域」とは、位相シフトマスク中の着目する領域（例えば、光透過領域）と光の位相を異なさせて露光光を透過する領域を意味し、着目する領域との相対的な位相差関係で規定される領域である。また、ウエハ上に形成されたレジスト材料に対して露光光により転写パターン形状等を形成するとき、縮小投影に使用されるものをレティクル、一対一投影に使用されるものをマスクと称したり、あるいは原盤に相当するものをレティクル、それを複製したものをマスクと称したりすることができるが、本明細書においては、このような種々の意味におけるレティクルやマスクを総称してマスクと呼ぶ。

## 【0025】

【作用】本発明においては、従来の技術とは異なり、二酸化シリコン層をエッティングマスクとして用いて、遮光層をドライエッティングする。遮光層をドライエッティングし得る条件であって二酸化シリコン層をエッティングしない条件を選択することができる。従って、ドライエッティングされた遮光層の側壁を確実に垂直にすることができる。

【0026】本発明においては、更に、遮光層をエッティングマスクとして用いて、位相シフト材料層あるいは基板をドライエッティングする。位相シフト材料層あるいは基板をドライエッティングし得る条件であって遮光層をエッティングしない条件を選択することができる。遮光層の側壁は確実に垂直に形成されているので、ドライエッチ

ング後に得られるバーニングされた位相シフト材料層あるいは基板の側壁も、確実に垂直になる。

## 【0027】

【実施例】以下、図面を参照して、実施例に基づき本発明を説明する。実施例1から実施例4は、本発明の第1の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関する。また、実施例5から実施例8は、本発明の第2の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関する。尚、図面において、同一参照番号は同一要素を意味する。

【0028】(実施例1) 実施例1は、本発明の第1の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関し、より具体的には、レベンソン方式位相シフトマスクの作製方法に関する。実施例1の位相シフトマスクの模式的な断面を図2の(D)に示す。実施例1の位相シフトマスクは、光透過領域10、遮光領域12及び位相シフト領域14から構成されている。実施例1の位相シフトマスクにおいては、遮光領域12、位相シフト領域14、遮光領域12、光透過領域10、遮光領域12・・・のように各領域が配置されている。

【0029】遮光領域12は、基板20上に形成された位相シフト材料層26及びその上に形成された遮光層22から構成されている。遮光層22の一部の上には、二酸化シリコン層24が存在する。位相シフト領域14は、例えば基板20上に形成されたSOGから成る位相シフト材料層26から構成されている。位相シフト材料層の厚さdは、 $d = \lambda / (2(n-1))$ を満足する値である。ここで、λは露光光の波長、nはSOGの屈折率である。位相シフト材料層の厚さdをこのような値に設定することによって、光透過領域10を透過した光と、位相シフト領域14を透過した光の位相は180度変化する。

【0030】以下、実施例1のレベンソン方式位相シフトマスクの作製方法を、図1及び図2を参照して説明する。尚、以下の各実施例においては、レジストはポジ型レジストを使用した。また、エッティング工程は全てドライエッティング法を採用した。

【0031】[工程-100] 基板20の表面に位相シフト材料層26、遮光層22、及び二酸化シリコン層24を順に形成する。そのために、先ず、例えば石英から成る透明な基板20上に、例えばSOGから成る位相シフト材料層26をスピンドル法にて形成する。位相シフト材料層26の厚さdは、180度の位相差を実現できるように、 $d = \lambda / (2(n-1))$ とした。次いで、位相シフト材料層26の上に、例えばクロムから成る遮光層22をスパッタ法にて形成し、更に、遮光層22上に、例えばSOGから成る二酸化シリコン層24を塗布する。更に、その上に、電子線に感光するレジスト層30を形成する(図1の(A)参照)。二酸化シリコン層24は、後の遮光層22のドライエッティング工程([工程-130]参照)において、エッティングされないの

で、二酸化シリコン層24の形成時に欠陥が生じない程度に薄く形成することができる。実施例1においては、二酸化シリコン層24の膜厚を50nmとした。

【0032】[工程-110] 次に、二酸化シリコン層24を所望のパターン形状にドライエッティングする。そのため、描画装置からの加速電圧20kVの電子線ビームによる描画を行い、次いで、レジスト層30の現像を行う(図1の(B)参照)。レジスト層30が残された領域には、後の工程で遮光領域が形成される。現像後のレジスト層30の厚さを400nmとした。

【0033】[工程-120] そして、レジスト層30をマスクとして、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッティング法にて、二酸化シリコン層24をドライエッティングし、所望のパターン形状を形成する(図1の(C)参照)。四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中におけるレジスト層30のエッティング速度は、毎分約150nmであった。一方、二酸化シリコン層24のエッティング速度は毎分約60nmであった。従って、50nmの厚さの二酸化シリコン層24をエッティングするために要するエッティング時間は約50秒であり、このときレジスト層30は約125nmだけエッティングされ、残ったレジスト層30の厚さは約275nmであった。残ったレジスト層30の厚さは、従来の通常の位相シフトマスク作製において、クロムから成る遮光層22のエッティング後に残るレジスト層の厚さと同程度である。それ故、従来の位相シフトマスク作製方法におけると同様のレジスト層30の解像性及び感度を得ることができた。

【0034】[工程-130] 次に、バーニングされた二酸化シリコン層24をエッティングマスクとして用いて、遮光層22をドライエッティングする。即ち、レジスト層30を除去した後、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る遮光層22をドライエッティングして、図1の(D)に示す構造を得た。遮光層22が除去された領域には、後の工程で光透過領域及び位相シフト領域が形成される。

【0035】塩素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中におけるクロムから成る遮光層22のエッティング速度は、毎分約30nmである。一方、二酸化シリコン層24は遮光層22のエッティング条件においてはエッティングされないため、ドライエッティングによる二酸化シリコン層24のパターン形状の劣化は認められなかった。従つて、二酸化シリコン層24をエッティング用マスクとして遮光層22をドライエッティングした場合、バーニングされた遮光層22の側壁を、確実に垂直に形成することができた。

【0036】[工程-140] 次に、電子線に感光するレジスト層32を形成し、更にその上にチャージアップを防止するための帯電防止層34を塗布する(図2の(A)参照)。次いで、描画装置を用いて加速電圧20

7

$kV$ の電子線ビームで描画を行い、レジスト層32を現像する（図2の（B）参照）。位相シフト領域を形成すべき領域、及び遮光領域を形成すべき領域の一部分が、レジスト層32で被覆される。

【0037】[工程-150]次いで、遮光層22をエッティングマスクとして用いて、位相シフト材料層26をドライエッティングする。即ち、三フッ化メタンによるプラズマ中にて、SOGから成る位相シフト材料層26をドライエッティングし、これによって光透過領域10を形成する（図2の（C）参照）。また、レジスト層32で被覆されていない二酸化シリコン層24もドライエッティングされて除去される。三フッ化メタンによる位相シフト材料層26のエッティング速度は毎分約60nmであり、一方、クロムから成る遮光層22は、位相シフト材料層26のエッティング条件においてはエッティングされなかった。従って、位相シフト材料層26の側壁を、確実に垂直に形成することができた。最後にレジスト層32を剥離して、図2の（D）に示す構造を有するレベンソン方式位相シフトマスクを得た。尚、この位相シフトマスクにおいて、二酸化シリコン層24の一部が残存しているが、遮光層22の上に存在するので、位相シフトマスクとしての性能を何等損なうものではない。

【0038】（実施例2）実施例2も、本発明の第1の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関し、より具体的には、補助パターン方式位相シフトマスクの作製方法に関する。実施例2の位相シフトマスクの模式的な断面を図4の（D）に示す。実施例2の位相シフトマスクも、光透過領域10、遮光領域12及び位相シフト領域14から構成されている。これらの各領域の構造それ自体は、実施例1にて説明した位相シフトマスクと同様と/orすることができる。但し、光透過領域10と位相シフト領域14との間に、狭い遮光領域12Aが存在する。

【0039】以下、実施例2の補助パターン方式位相シフトマスクの作製方法を、図3及び図4を参照して説明する。

【0040】[工程-200]先ず、例えば石英から成る透明な基板20上に、実施例1の[工程-100]と同様に、SOGから成り厚さdの位相シフト材料層26、クロムから成る遮光層22、SOGから成り厚さ50nmの二酸化シリコン層24、レジスト層30を形成する（図3の（A）参照）。

【0041】[工程-210]次に、実施例1の[工程-110]と同様に、描画装置からの加速電圧20kVの電子線ビームによる描画を行い、次いで、レジスト層30の現像を行う（図3の（B）参照）。レジスト層30が残された領域には、後の工程で遮光領域が形成される。現像後のレジスト層30の厚さを400nmとした。

【0042】[工程-220]次に、実施例1の[工程-120]と同様に、レジスト層30をマスクとして、

10

20

30

40

8

四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッティングを用いて二酸化シリコン層24をエッティングする（図3の（C）参照）。

【0043】[工程-230]次に、レジスト層30を除去した後、実施例1の[工程-130]と同様に、二酸化シリコン層24をエッティングマスクとして用いて、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る遮光層22をドライエッティングして、図3の（D）に示す構造を得た。遮光層22が除去された領域には、後の工程で光透過領域及び位相シフト領域が形成される。

【0044】[工程-240]次に、実施例1の[工程-140]と同様に、レジスト層32を形成し、更にその上にチャージアップを防止するための帯電防止層34を塗布する（図4の（A）参照）。次いで、描画装置を用いて加速電圧20kVの電子線ビームで描画を行い、レジスト層32を現像する（図4の（B）参照）。位相シフト領域を形成すべき領域、及び遮光領域を形成すべき領域の大部分が、レジスト層32で被覆される。

【0045】[工程-250]次いで、実施例1の[工程-150]と同様に、遮光層22をエッティングマスクとして用いて、三フッ化メタンによるプラズマ中にて、SOGから成る位相シフト材料層26をドライエッティングし、これによって光透過領域10を形成する（図4の（C）参照）。また、レジスト層32で被覆されていない二酸化シリコン層24もドライエッティングされて除去される。最後にレジスト層32を剥離して、図4の（D）に示す構造を有する補助パターン方式位相シフトマスクを得た。尚、この位相シフトマスクにおいて、二酸化シリコン層24の一部が残存しているが、遮光層22の上に存在するので、位相シフトマスクとしての性能を何等損なうものではない。

【0046】（実施例3）実施例3も、本発明の第1の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関し、より具体的には、リム方式位相シフトマスクの作製方法に関する。実施例3の位相シフトマスクの模式的な断面を図6の（D）に示す。実施例3の位相シフトマスクも、光透過領域10、遮光領域12及び位相シフト領域14から構成されている。これらの各領域の構造それ自体は、実施例1にて説明した位相シフトマスクと同様と/orすることができる。但し、光透過領域10と遮光領域12との間に、位相シフト領域14が存在する。

【0047】以下、実施例3のリム方式位相シフトマスクの作製方法を、図5及び図6を参照して説明する。

【0048】[工程-300]先ず、例えば石英から成る透明な基板20上に、実施例1の[工程-100]と同様に、SOGから成り厚さdの位相シフト材料層26、クロムから成る遮光層22、SOGから成り厚さ50nmの二酸化シリコン層24、レジスト層30を形成する（図5の（A）参照）。

【0049】[工程-310]次に、実施例1の[工程-

50

– 110] と同様に、描画装置からの加速電圧 20 kV の電子線ビームによる描画を行い、次いで、レジスト層 30 の現像を行う（図 5 の（B）参照）。レジスト層 30 が残された領域には、後の工程で遮光領域が形成される。

【0050】[工程–320] 次に、実施例 1 の [工程–120] と同様に、レジスト層 30 をマスクとして、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッチングを用いて二酸化シリコン層 24 をエッチングする（図 5 の（C）参照）。

【0051】[工程–330] 次に、レジスト層 30 を除去した後、実施例 1 の [工程–130] と同様に、二酸化シリコン層 24 をエッチングマスクとして用いて、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る遮光層 22 をドライエッチングして、図 5 の（D）に示す構造を得た。遮光層 22 が除去された領域には、後の工程で光透過領域が形成される。

【0052】[工程–340] その後、遮光層 22 をエッチングマスクとして用いて、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッチングを用いて位相シフト材料層 26 をエッチングする（図 6 の（A）参照）。このとき、同時に二酸化シリコン層 24 もエッチングされて除去される。四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによる位相シフト材料層 26 のエッチング速度は毎分約 60 nm であり、一方、クロムから成る遮光層 22 は、位相シフト材料層 26 のエッチング条件においてはエッチングされない。従って、位相シフト材料層 26 の側壁を、確実に垂直に形成することができた。

【0053】[工程–350] 次に、実施例 1 の [工程–140] と同様に、レジスト層 32 を形成し、更にその上にチャージアップを防止するための帯電防止層 34 を塗布する（図 6 の（B）参照）。次いで、描画装置を用いて加速電圧 20 kV の電子線ビームで描画を行い、レジスト層 32 を現像する（図 6 の（C）参照）。位相シフト領域を形成すべき領域を除いた領域が、レジスト層 32 で被覆される。

【0054】[工程–360] 次いで、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る遮光層 22 をドライエッチングし、レジスト層 32 を除去することによって、図 6 の（D）に示すリム方式位相シフトマスクを得た。

【0055】（実施例 4）実施例 4 も、本発明の第 1 の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関し、より具体的には、ハーフトーン方式位相シフトマスクの作製方法に関する。実施例 4 のハーフトーン方式位相シフトマスクの模式的な断面を図 7 の（E）に示す。実施例 4 のハーフトーン方式位相シフトマスクは、光透過領域 10 及び半遮光領域 16 から構成されている。

【0056】半遮光領域 16 は、基板 20 上に形成された位相シフト材料層 26 及び半遮光層 28 から構成されている。半遮光層 28 は、例えばクロムから成る。実施

例 1～実施例 3 における遮光層 22 との相違は、クロムの厚さにある。半遮光層 28 の厚さは遮光層 22 の厚さよりも薄い。半遮光領域 16 の振幅透過率が約 4 %～約 55 %となるように、半遮光層 28 の厚さを設定する。また、光透過領域 10 を透過した光の位相と、半遮光領域 16 を透過した光の位相は、厚さ d の位相シフト材料層 26 が存在するために、180 度ずれている。尚、半遮光層 28 も、本発明においては遮光層という用語に包含される。

【0057】以下、実施例 4 のハーフトーン方式位相シフトマスクの作製方法を、図 7 を参照して説明する。

【0058】[工程–400] 先ず、例えば石英から成る透明な基板 20 上に、実施例 1 の [工程–100] と同様に、SOG から成り厚さ d の位相シフト材料層 26、クロムから成る半遮光層 28、SOG から成り厚さ 50 nm の二酸化シリコン層 24、レジスト層 30 を形成する（図 7 の（A）参照）。

【0059】[工程–410] 次に、実施例 1 の [工程–110] と同様に、描画装置からの加速電圧 20 kV の電子線ビームによる描画を行い、次いで、レジスト層 30 の現像を行う（図 7 の（B）参照）。レジスト層 30 が残された領域には、後の工程で半遮光領域が形成される。現像後のレジスト層 30 の厚さを 400 nm とした。

【0060】[工程–420] 次に、実施例 1 の [工程–120] と同様に、レジスト層 30 をマスクとして、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッチングを用いて二酸化シリコン層 24 をエッチングする（図 7 の（C）参照）。

【0061】[工程–430] 次に、レジスト層 30 を除去した後、実施例 1 の [工程–130] と同様に、二酸化シリコン層 24 をエッチングマスクとして用いて、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る半遮光層 28 をドライエッチングして、図 7 の（D）に示す構造を得た。半遮光層 28 が除去された領域には、後の工程で光透過領域が形成される。

【0062】[工程–440] 次いで、半遮光層 28 をエッチングマスクとして用いて、三フッ化メタンによるプラズマ中にて、SOG から成る位相シフト材料層 26 をドライエッチングし、これによって光透過領域を形成する。このとき、同時に二酸化シリコン層 24 もエッチングされて除去される。こうして、図 7 の（E）に示す構造を有するハーフトーン方式位相シフトマスクを得た。

【0063】（実施例 5）実施例 5 は、本発明の第 2 の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関し、より具体的には、レベンソン方式位相シフトマスクの作製方法に関する。実施例 5 の位相シフトマスクの模式的な断面を図 9 の（D）に示す。実施例 5 の位相シフトマスクは、光透過領域 10、遮光領域 12 及び位相シフト領域

14から構成されている。実施例5の位相シフトマスクにおいては、遮光領域12、位相シフト領域14、遮光領域12、光透過領域10、遮光領域12・・・のように各領域が配置されている。実施例5の位相シフトマスクが実施例1の位相シフトマスクと相違する点は、位相シフト材料層が存在しない点、及び、光透過領域10が基板20に形成された凹部20Aから成る点にある。このような光透過領域10を形成することによって位相シフト領域14を透過する光と、光透過領域10を透過する光の位相を変えることができる。

【0064】遮光領域12は、基板20上に形成された遮光層22から構成されている。遮光層22の一部の上には、二酸化シリコン層24が存在する。位相シフト領域14には、遮光層22は形成されておらず、基板20が露出した状態にある。光透過領域10は、基板20に形成された凹部20Aから成る。この凹部20Aの深さd'は、 $d' = \lambda / (2(n' - 1))$ を満足する値である。ここで、λは露光光の波長、n'は基板20の屈折率である。基板20に形成された凹部20Aの深さd'をこのような値に設定することによって、光透過領域10を透過した光と、位相シフト領域14を透過した光の位相は180度変化する。

【0065】以下、実施例5のレベンソン方式位相シフトマスクの作製方法を、図8及び図9を参照して説明する。尚、エッティング工程は全てドライエッティング法を探用した。

【0066】【工程-500】基板20の表面に、遮光層22、及び二酸化シリコン層24を順に形成する。そのために、先ず、例えば石英から成る透明な基板20上に、例えばクロムから成る遮光層22をスパッタ法にて形成し、更に、遮光層22上に、例えばSOGから成る二酸化シリコン層24を塗布する。更に、その上に、電子線に感光するレジスト層30を形成する(図8の(A)参照)。二酸化シリコン層24は、後の遮光層22のドライエッティング工程(【工程-530】参照)において、エッティングされないので、二酸化シリコン層24の形成時に欠陥が生じない程度に薄く形成することができる。実施例5においては、二酸化シリコン層24の膜厚を50nmとした。

【0067】【工程-510】次に、二酸化シリコン層24を所望のパターン形状にドライエッティングする。のために、描画装置からの加速電圧20kVの電子線ビームによる描画を行い、次いで、レジスト層30の現像を行う(図8の(B)参照)。レジスト層30が残された領域には、後の工程で遮光領域が形成される。現像後のレジスト層30の厚さを400nmとした。

【0068】【工程-520】そして、レジスト層30をマスクとして、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッティング法にて、二酸化シリコン層24をドライエッティングし、所望のパターン

形状を形成する(図8の(C)参照)。四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中におけるレジスト層30のエッティング速度は、毎分約150nmであった。一方、二酸化シリコン層24のエッティング速度は毎分約60nmであった。従って、50nmの厚さの二酸化シリコン層24をエッティングするために要するエッティング時間は約50秒であり、このときレジスト層30は約125nmだけエッティングされ、残ったレジスト層30の厚さは約275nmであった。残ったレジスト層30の厚さは、従来の通常の位相シフトマスク作製において、クロムから成る遮光層22のエッティング後に残るレジスト層の厚さと同程度である。それ故、従来の位相シフトマスク作製方法におけると同様のレジスト層30の解像性及び感度を得ることができた。

【0069】【工程-530】次に、バーニングされた二酸化シリコン層24をエッティングマスクとして用いて、遮光層22をドライエッティングする。即ち、レジスト層30を除去した後、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る遮光層22をドライエッティングして、図8の(D)に示す構造を得た。遮光層22が除去され基板20が露出した領域には、後の工程で光透過領域及び位相シフト領域が形成される。

【0070】塩素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中におけるクロムから成る遮光層22のエッティング速度は、毎分約30nmである。一方、二酸化シリコン層24は遮光層22のエッティング条件においてはエッティングされないため、ドライエッティングによる二酸化シリコン層24のパターン形状の劣化は認められなかった。従って、二酸化シリコン層24をエッティング用マスクとして遮光層22をドライエッティングした場合、バーニングされた遮光層22の側壁を、確実に垂直に形成することができた。

【0071】【工程-540】次に、電子線に感光するレジスト層32を形成し、更にその上にチャージアップを防止するための帯電防止層34を塗布する(図9の(A)参照)。次いで、描画装置を用いて加速電圧20kVの電子線ビームで描画を行い、レジスト層32を現像する(図9の(B)参照)。位相シフト領域を形成すべき領域、及び遮光領域を形成すべき領域の一部分が、レジスト層32で被覆される。

【0072】【工程-550】次いで、遮光層22をエッティングマスクとして用いて、基板20をドライエッティングして、基板20に凹部20Aを形成する。即ち、三フッ化メタンによるプラズマ中にて、基板20をドライエッティングして凹部を形成し、これによって光透過領域10を形成する(図9の(C)参照)。また、レジスト層32で被覆されていない二酸化シリコン層24もドライエッティングされて除去される。三フッ化メタンによる基板10のエッティング速度は毎分約30nmであり、一方、クロムから成る遮光層22は、基板20のエッテン

グ条件においてはエッチングされなかった。従って、基板20の凹部20Aの側壁を、確実に垂直に形成することができた。最後にレジスト層32を剥離して、図9の(D)に示す構造を有するレベンソン方式位相シフトマスクを得た。尚、この位相シフトマスクにおいて、二酸化シリコン層24の一部が残存しているが、遮光層22の上に存在するので、位相シフトマスクとしての性能を何等損なうものではない。

【0073】(実施例6) 実施例6も、本発明の第2の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関し、より具体的には、補助パターン方式位相シフトマスクの作製方法に関する。実施例6の位相シフトマスクの模式的な断面を図11の(D)に示す。実施例6の位相シフトマスクも、光透過領域10、遮光領域12及び位相シフト領域14から構成されている。これらの各領域の構造それ自体は、実施例5にて説明した位相シフトマスクと同様とができる。但し、光透過領域10と位相シフト領域14との間に、狭い遮光領域12Aが存在する。実施例6の位相シフトマスクが実施例2の位相シフトマスクと相違する点は、位相シフト材料層が存在しない点、及び、光透過領域10が基板20に形成された凹部20Aから成る点にある。

【0074】以下、実施例6の補助パターン方式位相シフトマスクの作製方法を、図10及び図11を参照して説明する。

【0075】[工程-600] 先ず、例えば石英から成る透明な基板20上に、実施例5の[工程-500]と同様に、クロムから成る遮光層22、SOGから成り厚さ50nmの二酸化シリコン層24、レジスト層30を形成する(図10の(A)参照)。

【0076】[工程-610] 次に、実施例5の[工程-510]と同様に、描画装置からの加速電圧20kVの電子線ビームによる描画を行い、次いで、レジスト層30の現像を行う(図10の(B)参照)。レジスト層30が残された領域には、後の工程で遮光領域が形成される。現像後のレジスト層30の厚さを400nmとした。

【0077】[工程-620] 次に、実施例5の[工程-520]と同様に、レジスト層30をマスクとして、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッチングを用いて二酸化シリコン層24をエッチングする(図10の(C)参照)。

【0078】[工程-630] 次に、レジスト層30を除去した後、実施例5の[工程-530]と同様に、二酸化シリコン層24をエッチングマスクとして用いて、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る遮光層22をドライエッチングして、図10の(D)に示す構造を得た。遮光層22が除去され基板20が露出した領域には、後の工程で光透過領域及び位相シフト領域が形成される。

【0079】[工程-640] 次に、実施例5の[工程-540]と同様に、レジスト層32を形成し、更にその上にチャージアップを防止するための帯電防止層34を塗布する(図11の(A)参照)。次いで、描画装置を用いて加速電圧20kVの電子線ビームで描画を行い、レジスト層32を現像する(図11の(B)参照)。位相シフト領域を形成すべき領域、及び遮光領域を形成すべき領域の大部分が、レジスト層32で被覆される。

【0080】[工程-650] 次いで、実施例5の[工程-550]と同様に、遮光層22をエッチングマスクとして用いて、三フッ化メタンによるプラズマ中にて、基板20をドライエッチングして凹部20Aを形成し、これによって光透過領域10を形成する(図11の(C)参照)。また、レジスト層32で被覆されていない二酸化シリコン層24もドライエッチングされて除去される。最後にレジスト層32を剥離して、図11の(D)に示す構造を有する補助パターン方式位相シフトマスクを得た。尚、この位相シフトマスクにおいて、二酸化シリコン層24の一部が残存しているが、遮光層22の上に存在するので、位相シフトマスクとしての性能を何等損なうものではない。

【0081】(実施例7) 実施例7も、本発明の第2の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関し、より具体的には、リム方式位相シフトマスクの作製方法に関する。実施例7の位相シフトマスクの模式的な断面を図13の(D)に示す。実施例7の位相シフトマスクも、光透過領域10、遮光領域12及び位相シフト領域14から構成されている。これらの各領域の構造それ自体は、実施例5にて説明した位相シフトマスクと同様とすることができる。但し、光透過領域10と遮光領域12との間に、位相シフト領域14が存在する。実施例7の位相シフトマスクが実施例3の位相シフトマスクと相違する点は、位相シフト材料層が存在しない点、及び、光透過領域10が基板20に形成された凹部20Aから成る点にある。

【0082】以下、実施例7のリム方式位相シフトマスクの作製方法を、図12及び図13を参照して説明する。

【0083】[工程-700] 先ず、例えば石英から成る透明な基板20上に、実施例5の[工程-500]と同様に、クロムから成る遮光層22、SOGから成り厚さ50nmの二酸化シリコン層24、レジスト層30を形成する(図12の(A)参照)。

【0084】[工程-710] 次に、実施例5の[工程-510]と同様に、描画装置からの加速電圧20kVの電子線ビームによる描画を行い、次いで、レジスト層30の現像を行う(図12の(B)参照)。レジスト層30が残された領域には、後の工程で遮光領域が形成さ

【0085】[工程-720] 次に、実施例5の[工程-520]と同様に、レジスト層30をマスクとして、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッチングを用いて二酸化シリコン層24をエッチングする(図12の(C)参照)。

【0086】[工程-730] 次に、レジスト層30を除去した後、実施例5の[工程-530]と同様に、二酸化シリコン層24をエッチングマスクとして用いて、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る遮光層22をドライエッチングして、図12の(D)に示す構造を得た。遮光層22が除去され基板20が露出した領域には、後の工程で光透過領域が形成される。

【0087】[工程-740] その後、遮光層22をエッチングマスクとして用いて、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッチングを用いて基板20をエッチングし凹部20Aを形成する(図13の(A)参照)。このとき、同時に二酸化シリコン層24もエッチングされて除去される。四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによる基板20のエッチング速度は毎分約30nmであり、一方、クロムから成る遮光層22は、基板20のエッチング条件においてはエッチングされない。従って、凹部20Aの側壁を、確実に垂直に形成することができた。

【0088】[工程-750] 次に、実施例5の[工程-540]と同様に、レジスト層32を形成し、更にその上にチャージアップを防止するための帯電防止層34を塗布する(図13の(B)参照)。次いで、描画装置を用いて加速電圧20kVの電子線ビームによる描画を行い、レジスト層32を現像する(図13の(C)参照)。位相シフト領域を形成すべき領域を除いた領域が、レジスト層32で被覆される。

【0089】[工程-760] 次いで、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る遮光層22をドライエッチングし、レジスト層32を除去することによって、図13の(D)に示すリム方式位相シフトマスクを得た。

【0090】(実施例8) 実施例8も、本発明の第2の態様に係る位相シフトマスクの作製方法に関し、より具体的には、ハーフトーン方式位相シフトマスクの作製方法に関する。実施例8のハーフトーン方式位相シフトマスクの模式的な断面を図14の(E)に示す。実施例8のハーフトーン方式位相シフトマスクは、光透過領域10及び半遮光領域16から構成されている。実施例8のハーフトーン方式位相シフトマスクが実施例4のハーフトーン方式位相シフトマスクと相違する点は、位相シフト材料層が存在しない点、及び、光透過領域10が基板20に形成された凹部20Aから成る点にある。

【0091】半遮光領域16は、基板20上に形成された半遮光層28から構成されている。半遮光層28は、例えばクロムから成る。実施例5～実施例7における遮光層22との相違は、クロムの厚さにある。半遮光層2

8の厚さは遮光層22の厚さよりも薄い。半遮光領域16の振幅透過率が約4%～約5.5%となるように、半遮光層28の厚さを設定する。また、光透過領域10を透過した光の位相と、半遮光領域16を透過した光の位相は、基板20に深さd'の凹部が形成されているために、180度ずれている。尚、半遮光層28も、本発明においては遮光層という用語に包含される。

【0092】以下、実施例8のハーフトーン方式位相シフトマスクの作製方法を、図14を参照して説明する。

【0093】[工程-800] 先ず、例えば石英から成る透明な基板20上に、実施例5の[工程-500]と同様に、クロムから成る半遮光層28、SOGから成り厚さ50nmの二酸化シリコン層24、及びレジスト層30を形成する(図14の(A)参照)。

【0094】[工程-810] 次に、実施例5の[工程-510]と同様に、描画装置からの加速電圧20kVの電子線ビームによる描画を行い、次いで、レジスト層30の現像を行う(図14の(B)参照)。レジスト層30が現像された領域には、後の工程で半遮光領域が形成される。現像後のレジスト層30の厚さを400nmとした。

【0095】[工程-820] 次に、実施例5の[工程-520]と同様に、レジスト層30をマスクとして、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中で反応性イオンエッチングを用いて二酸化シリコン層24をエッチングする(図14の(C)参照)。

【0096】[工程-830] 次に、レジスト層30を除去した後、実施例5の[工程-530]と同様に、二酸化シリコン層24をエッチングマスクとして用いて、塩素及び酸素の混合ガスにて、クロムから成る半遮光層28をドライエッチングして、図14の(D)に示す構造を得た。半遮光層28が除去された領域には、後の工程で光透過領域が形成される。

【0097】[工程-840] 次いで、半遮光層28をエッチングマスクとして用いて、三フッ化メタンによるプラズマ中にて、基板20をドライエッチングして凹部20Aを形成し、これによって光透過領域10を形成する。このとき、同時に二酸化シリコン層24もエッチングされて除去される。こうして、図14の(E)に示す構造を有するハーフトーン方式位相シフトマスクを得た。

【0098】以上、本発明を好ましい実施例に基づき説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。実施例にて説明した条件や数値は例示であり、適宜変更することができる。例えば、各領域における光の位相や振幅透過率は例示であり、適宜最適な値に変更することができる。

【0099】各実施例において、二酸化シリコン層24としてSOGを用いたが、CVD法、スパッタ法、あるいはイオンプレーティング法等によって形成された二酸化シリコンを用いても良く、二酸化シリコン層の形成方

17

法には何等制約されることはない。また、レジスト層30, 32としてポジ型レジスト材料を使用したが、ネガ型レジスト材料を使用しても何等差し支えない。この場合、電子線ビーム描画領域はポジ型レジスト材料の場合と逆になる点のみが異なる。また、位相シフト材料層を構成する材料は、SOGに限定されるものではなく、ポリメチルスタクリート、フッ化マグネシウム、二酸化チタン、ポリイミド樹脂、二酸化珪素、酸化インジウム、SIN、各種レジスト等、透明な材料であればよい。更には、遮光層もクロムに限定されるものではなく、例えば、アルミニウム、金属シリサイドのような遮光特性を有する材料であれば如何なる材料をも使用することができる。

## 【0100】

【発明の効果】本発明においては、遮光層の上に二酸化シリコン層を形成することによって、ドライエッチング後に得られるパターニングされた位相シフト材料層あるいは基板の側壁を確実に垂直にすることができ、所望のパターン形状を得ることができる。

【0101】本発明においては、従来の位相シフトマスク作製方法と比較して、遮光層上に二酸化シリコン層を形成する工程が増えるだけであり、位相シフトマスク製造における生産性の低下及び製造コストの増加は極めて軽微である。

【0102】また、本発明により位相シフトマスク製造工程の制御性が著しく向上する。更には、垂直な側壁形状を具備するパターン形状により光露光を行うことができ、位相の異なる光の干渉効果が最大限に得られるために、位相シフトマスクに形成されたパターン形状をウエハ上に形成されたレジストに転写する際、転写されたパターン形状の劣化を大幅に低減できると共に、高い歩留まりでパターンを形成することができ、半導体装置の生産における製造コストを低減させることができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図2】図1に引き続き、実施例1の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図3】実施例2の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図4】図3に引き続き、実施例2の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図5】実施例3の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図6】図5に引き続き、実施例3の位相シフトマスク

50

18

の作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図7】実施例4の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図8】実施例5の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図9】図8に引き続き、実施例5の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図10】実施例6の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図11】図10に引き続き、実施例6の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図12】実施例7の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図13】図12に引き続き、実施例7の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図14】実施例8の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図15】従来の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図16】図15に引き続き、従来の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

【図17】従来の別の形式の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

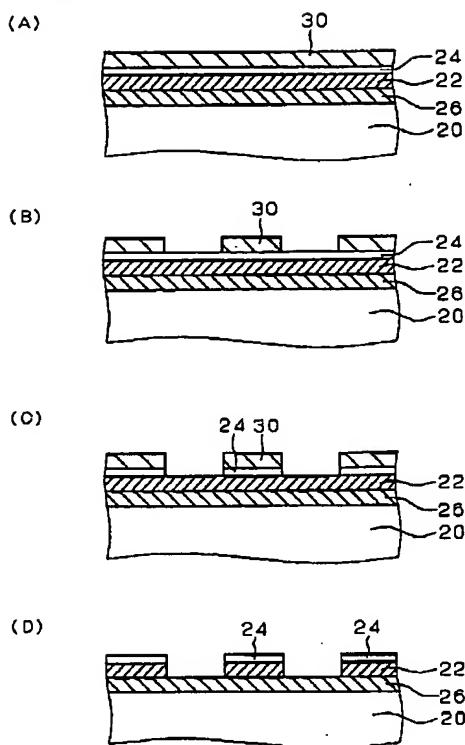
【図18】図17に引き続き、従来の位相シフトマスクの作製方法を説明するための、各工程における基板等の模式的な一部断面図である。

## 【符号の説明】

- 10 光透過領域
- 12 遮光領域
- 14 位相シフト領域
- 16 半遮光領域
- 20 基板
- 22 遮光層
- 24 二酸化シリコン層
- 26 位相シフト材料層
- 28 半遮光層
- 30, 32 レジスト層
- 34 带電防止層

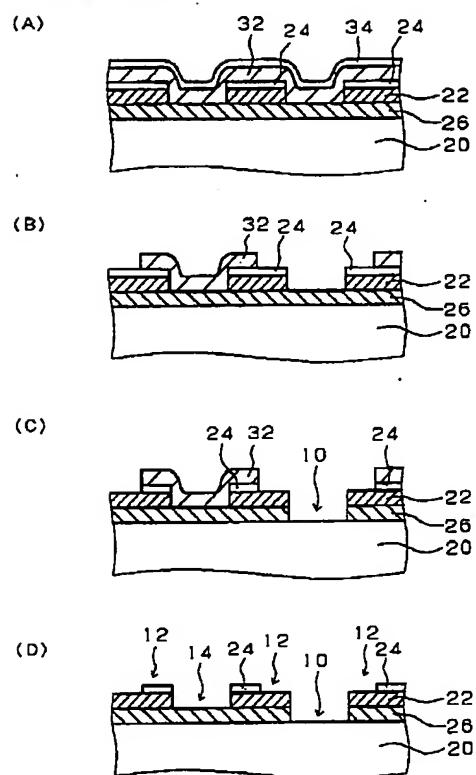
【図1】

実施例1

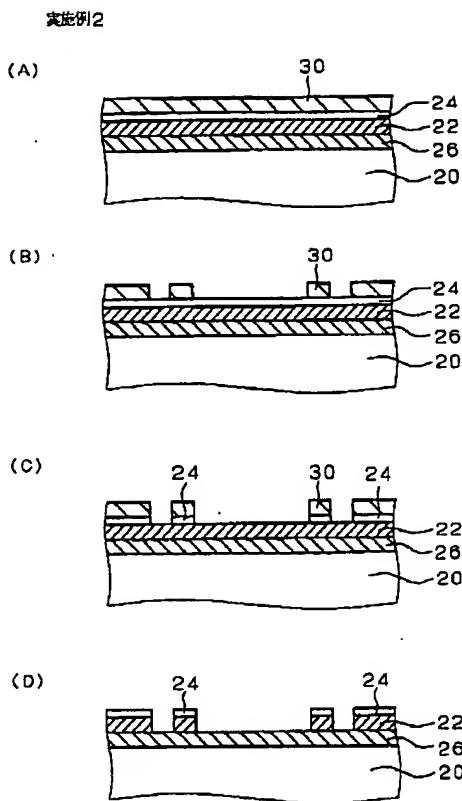


【図2】

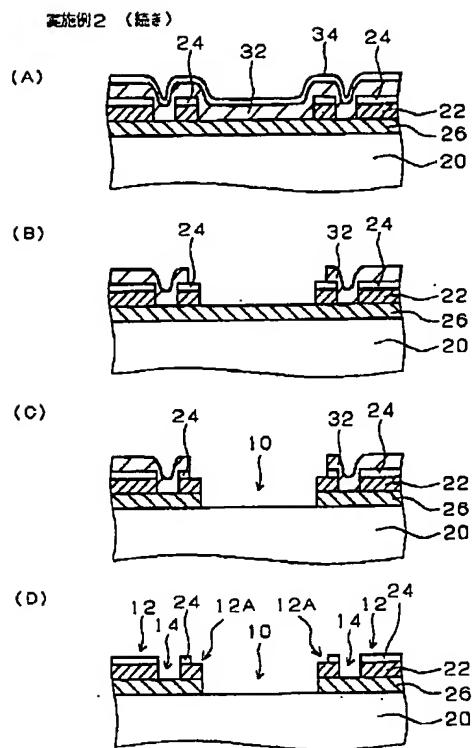
実施例1（焼き）



【図3】

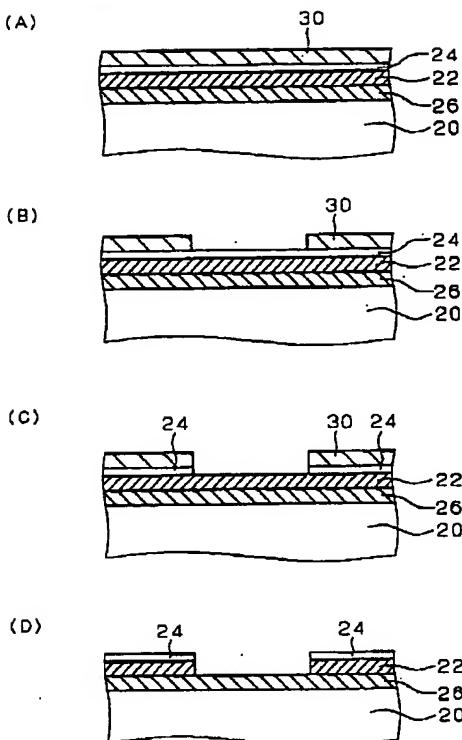


【図4】



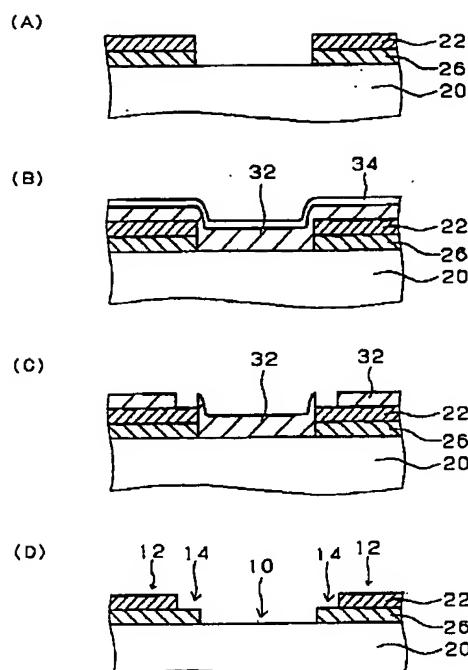
【図5】

## 実施例3



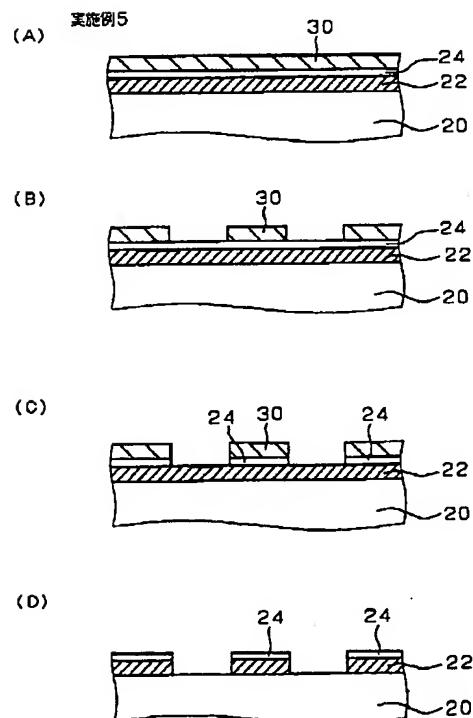
【図6】

## 実施例3（焼き）

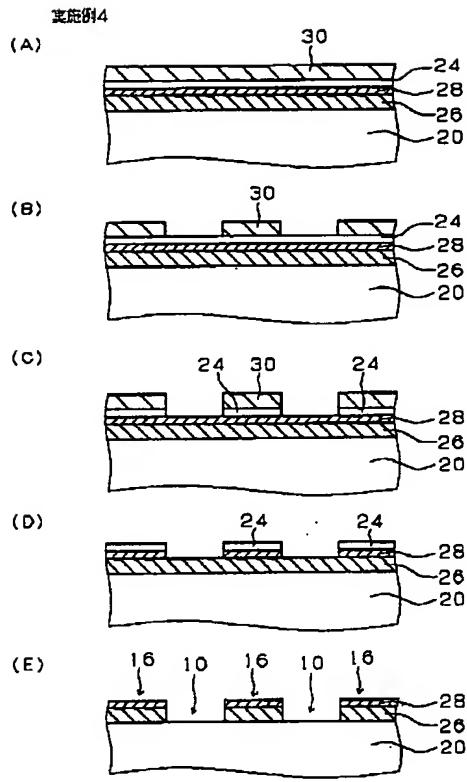


【図8】

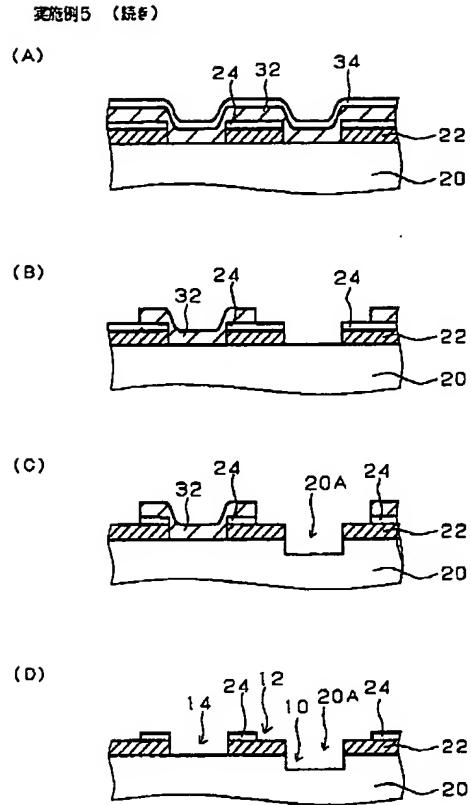
## 実施例5



【図7】

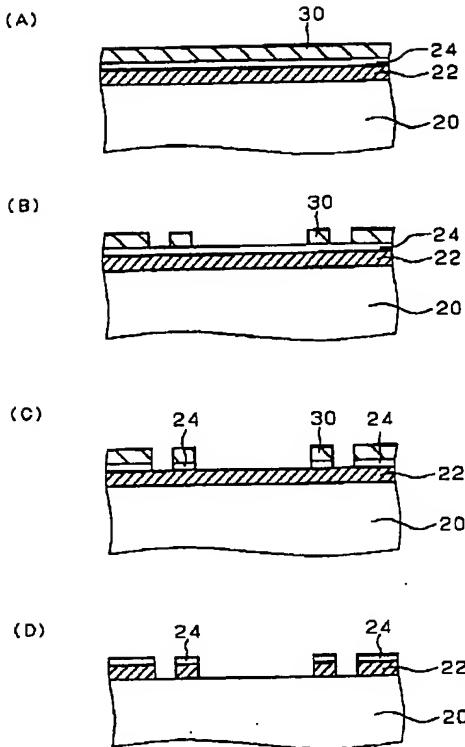


【図9】



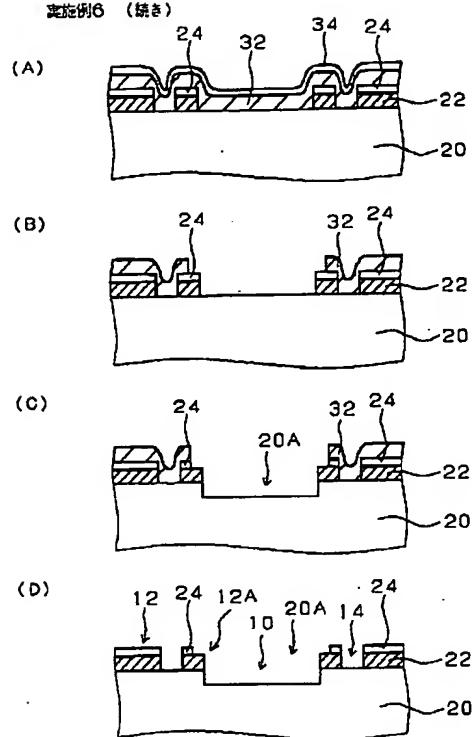
【図10】

実施例6

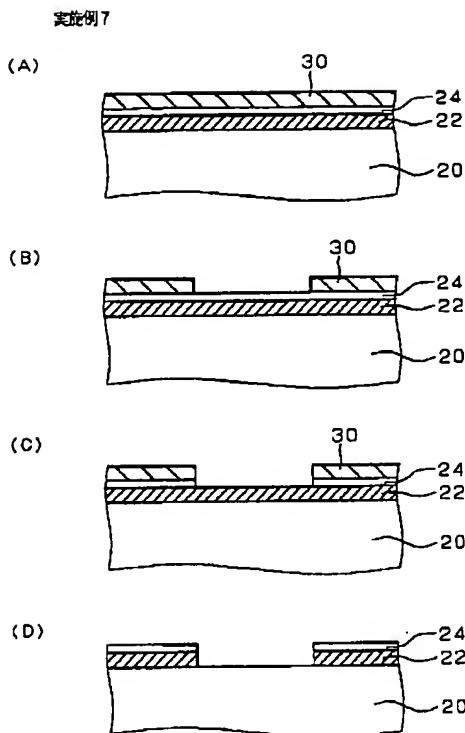


【図11】

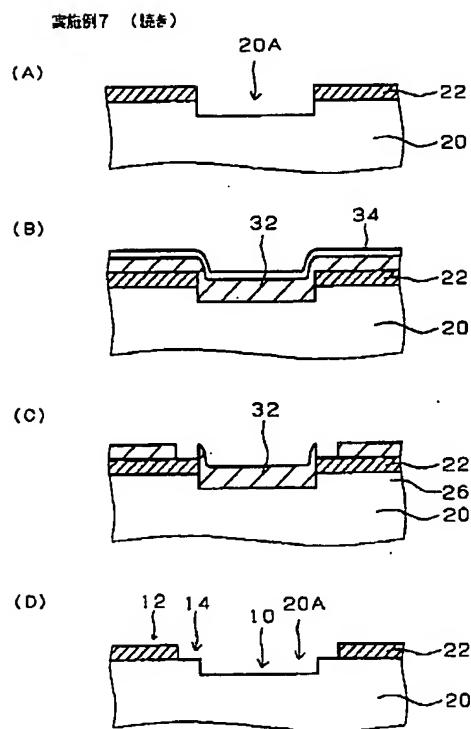
実施例6 (焼き)



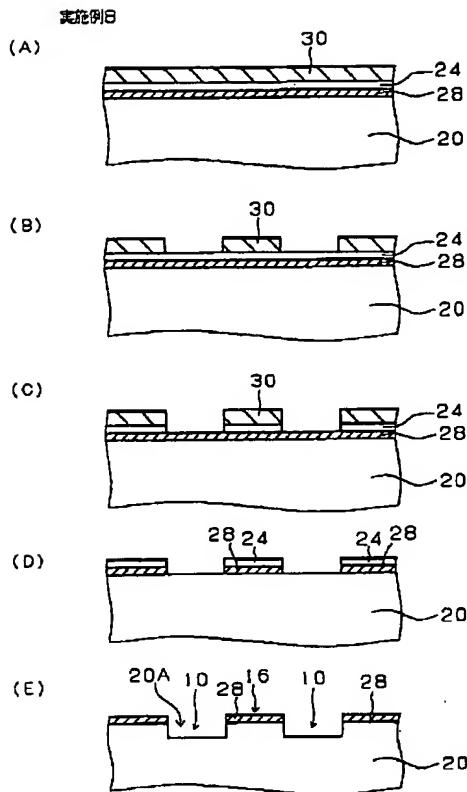
【図12】



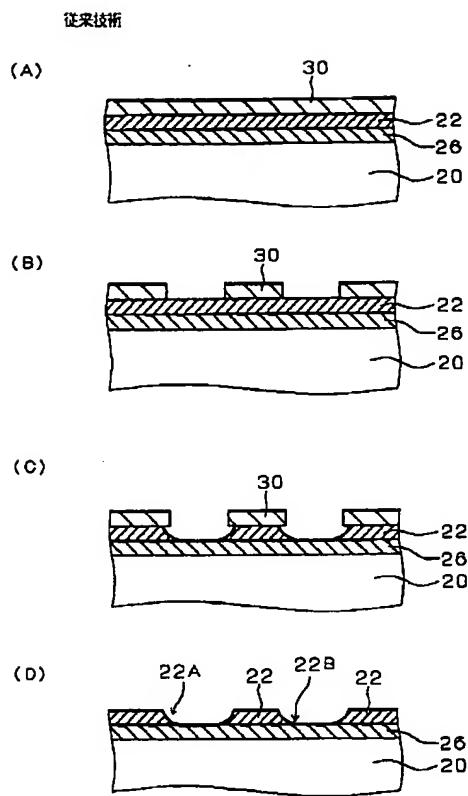
【図13】



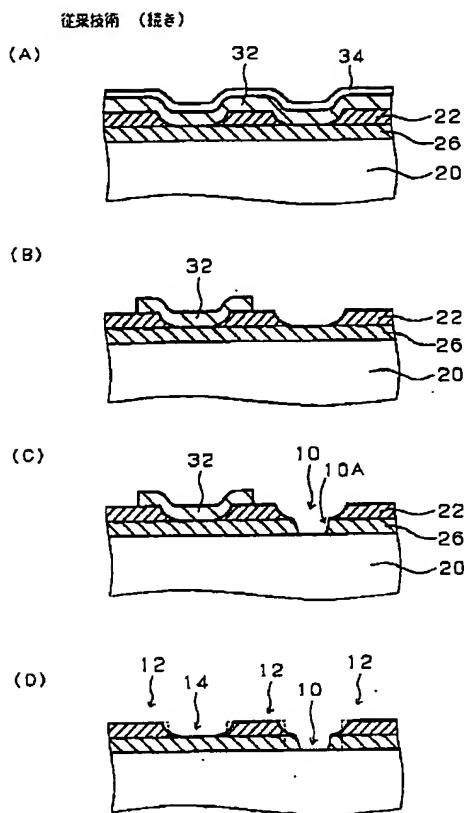
【図14】



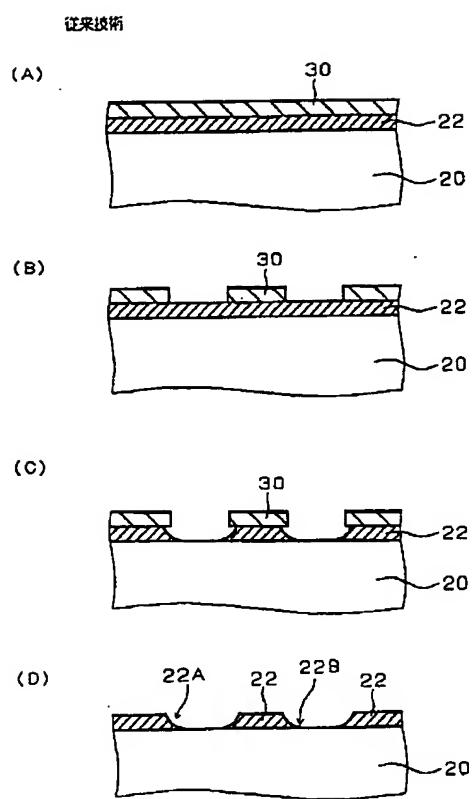
【図15】



【図16】



【図17】



[図18]

